

Zur Dampfdurchlässigkeit einer Grenzfläche

P. Prim,

Ehemals Laboratoire des matériaux de construction,
EPF Lausanne, Schweiz

Zusammenfassung

An einzelnen porösen Werkstoffen des Bauwesens kann der Koeffizient für die Dampfpermeabilität vergleichsweise einfach mit Hilfe von standardisierten Versuchen bestimmt werden. Die resultierende Dampfpermeabilität von schichtförmig aufgebauten Bauteilen setzt sich additiv aus den einzelnen Diffusionswiderständen zusammen. Dabei wird jedoch der Einfluss der Grenzfläche auf die Dampfdurchlässigkeit des Verbundwerkstoffes vernachlässigt. Zunächst wurde die Dampfdurchlässigkeit einzelner Komponenten und dann von zwei daraus aufgebauten Verbundwerkstoffen gemessen. Es zeigt sich, dass die Grenzfläche wie eine dritte Phase zu behandeln ist, die die Dampfdurchlässigkeit herabsetzt.

Stichwörter: Dampfdurchlässigkeit, Grenzfläche, Diffusionswiderstand

On the influence of an interface on vapour permeability

Abstract

Vapour permeability of individual porous building materials can be measured easily using standardised test methods. The total permeability of a layered structure can be predicted by adding the determined values of the diffusion resistance of each component. This approach, however, totally neglects the influence of the interface on vapour permeability. Vapour permeability has been determined on samples of four different components, i.e. burnt brick, autoclaved cellular concrete, gypsum plaster, and cement mortar. In addition, vapour permeability of two compounds built up of (a) brick and gypsum plaster and (b) autoclaved aerated concrete and

cement mortar has been measured. It is shown that the interface can be looked upon as a third phase which reduces vapour permeability of a layered element. The incompatibility of porous systems is supposed to be at the origin of this phenomenon.

Key words: Vapour permeability, interface, diffusion resistance

1 Einleitung

Poröse Werkstoffe lassen sich unter anderem über ihre jeweils charakteristische Dampfdurchlässigkeit unterscheiden. Werden zwei Halbräume, in denen der Dampfdruck P_1 bzw. P_2 herrscht, durch eine Scheibe mit der Dicke Δx getrennt, so stellt sich eine konstante Dampfstromdichte j nach Gl. (1) ein:

$$j = \lambda \frac{P_2 - P_1}{\Delta x} = \lambda \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad (1)$$

In dieser Gleichung steht λ für den Dampfpermeabilitätskoeffizienten. Der Kehrwert von λ kann als Dampfleitfähigkeitswiderstand bezeichnet werden:

$$r_1 = \frac{1}{\lambda_1} \quad (2)$$

Im Bauwesen wird aber der eigentliche Dampf Widerstand selten verwendet. Dafür hat sich eine dimensionslose bezogene Grösse, die Diffusionswiderstandszahl eingebürgert:

$$\mu = \frac{r_1}{r_L} = \frac{\lambda_L}{\lambda_1} = \frac{j_L}{j_1} \quad (3)$$

Der Dampfpermeabilitätswiderstand R_1 wird dabei durch den entsprechenden Wert einer ruhenden Luftschicht dividiert. Bei 20° C ist $1/r_L = \lambda_L = 6.4 \cdot 10^{-7} \text{ kg}/(\text{m h Pa})$. Multipliziert man die Dampf Widerstandszahl mit der Schichtdicke d , so erhält man den Diffusionswiderstand R .

$$R = \mu \cdot d \quad (4)$$

Der Wert R hat die Dimension einer Länge und gibt an wie dick eine ruhende Luftschicht sein müsste, um denselben Diffusionswiderstand zu haben. Man nennt deshalb R auch die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke.

Bei einem aus mehreren Schichten zusammengesetzten Bauteil erhält man den resultierenden Diffusionswiderstand R_t durch Addition der Diffusionswiderstände der einzelnen Schichten.:

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_1 + R_2 + \dots \\
 &= \mu_1 d_1 + \mu_2 d_2 \dots \\
 &= \mu_i d_i \\
 &= \sum_{i=1}^n \mu_i d_i
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Dabei wird aber die Rolle der Grenzfläche zwischen zwei aneinanderstossenden Werkstoffen vollständig vernachlässigt. In einem früheren Beitrag wurde der Einfluss dieser Grenzfläche auf die kapillare Saugfähigkeit untersucht [1]. Dabei stellte sich heraus, dass die Grenzfläche die kapillare Saugfähigkeit reduziert. Diese Beobachtung wurde im wesentlichen auf eine Inkompatibilität (mismatch) der zwei angrenzenden porösen Systeme zurückgeführt.

In diesem Beitrag soll nun der Einfluss einer Grenzfläche auf die Dampfdiffusion näher untersucht werden. An vier unterschiedlichen Werkstoffen des Bauwesens wurden die Kenngrössen λ und μ experimentell bestimmt. Ausserdem wurden aus je zwei Komponenten zweischichtige Proben hergestellt, um an diesen wiederum die Kenngrössen λ bzw. μ zu messen.

2. Versuchsdurchführung und Probenherstellung

Es ist bekannt, dass der Dampfdiffusionskoeffizient poröser Werkstoffe vom Feuchtigkeitsgehalt abhängt [2]. Deshalb wurden die Versuche mit dem "wet cup" (W) und dem "dry cup" (D) Verfahren durchgeführt. Bei der Probenvorbereitung und der Versuchsdurchführung wurde die entsprechende RILEM-Empfehlung beachtet [3].

Aus Ziegelstein und Porenbeton wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm entnommen. Daraus wurden Scheiben mit einer Dicke von 10 mm geschnitten. Identische Scheiben wurden aus Gipsputz mit einem Wasser/Gips-Verhältnis von 0.4 und aus Zementmörtel hergestellt. Das Grösstkorn des Zuschlages im Mörtel hatte einen Durchmesser von 0.5 mm. Normaler Portlandzement wurde mit einem W/Z-Verhältnis von 0.44 verwendet.

Aus Ziegelstein und Gipsputz sowie aus Porenbeton und Zementmörtel wurden zylindrische Verbundkörper mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 20 mm hergestellt. Die Ziegelsteine - bzw. die Porenbetonscheiben wurden vor dem Aufbringen der zweiten Schicht befeuchtet.

Alle Versuche wurden mindestens an drei Parallelproben durchgeführt. Die im folgenden angegebenen Messwerte sind die so erhaltenen Mittelwerte [4].

3 Versuchsergebnisse

In der Tabelle I sind die gemessenen Werte für λ zusammengestellt. Die Dampfermeabilität im "wet-cup"-Versuch (W) ist stets höher als im "Dry-cup"-Versuch (D). Dies ist zu erwarten und ist in Übereinstimmung mit früheren Messergebnissen (siehe z.B. [2]) und lässt sich über die unterschiedlichen Transportmechanismen zwanglos erklären. Die berechneten Werte für μ sind ebenfalls in Tabelle I eingetragen. Der μ -Wert ist im trockenen Bereich stets deutlich höher als im feuchten.

Tabelle I: Die an den einzelnen Komponenten und den Verbundsystemen gemessenen Werte für den Dampfermeabilitätskoeffizienten λ nach dem "wet-cup"-Verfahren (W) und dem "dry-cup"-Verfahren (D). Ausserdem sind die daraus ermittelten μ -Werte eingetragen

Table I: Experimentally determined coefficient of permeability λ of individual components and two layered composite structures using (w) wet-cup method and (D) dry-cup method. The corresponding μ -values are also given.

Werkstoffe		Versuchs - art	λ $\frac{\text{kg}}{\text{m h Pa}}$	μ
Einzelne Komponenten	Ziegelstein	W	$4.4 \cdot 10^{-8}$	14.5
		D	$1.1 \cdot 10^{-8}$	58.2
	Porenbeton	W	$7.5 \cdot 10^{-8}$	8.5
		D	$2.2 \cdot 10^{-8}$	29.1
	Gipsputz	W	$6.6 \cdot 10^{-8}$	9.7
		D	$2.5 \cdot 10^{-8}$	25.6
	Zementmörtel	W	$0.8 \cdot 10^{-8}$	80.0
		D	$0.4 \cdot 10^{-8}$	160.0
Verbund - systeme	Ziegelstein und Gipsputz	W	$2.7 \cdot 10^{-8}$	22.7
		D	$1.2 \cdot 10^{-8}$	53.3
	Porenbeton und Zementmörtel	W	$1.0 \cdot 10^{-8}$	64.0
		D	$0.6 \cdot 10^{-8}$	106.6

Aus den Werten, die an den einzelnen Komponenten gemessen wurden, lässt sich im Prinzip nach Gl. (5) der resultierende Gesamtwiderstand R_t berechnen. An zwei möglichen Kombinationen aus den einzelnen Komponenten wurde der μ -Wert experimentell bestimmt. Daraus lässt sich der entsprechende R_t -Wert direkt ermitteln.

In Tabelle II sind die gemessenen Werte und die nach Gl. (5) berechneten Werte eingetragen. Man erkennt daraus, dass in allen Fällen ein etwas höherer Diffusionswiderstand gemessen wurde.

Tabelle II: Vergleich der gemessenen und nach Gl. (5) berechneten Werte für den Diffusionswiderstand R .

Table II: Comparison of measured and calculated values of diffusion resistance R according to equ. (5)

Verbundsysteme	Versuchsart	Gemessen $R = \mu d$ [mm]	berechnet $R = \mu_1 d_1 + \mu_2 d_2$ [mm]
Ziegelstein und Gipsputz	W	474	242
	D	1066	838
Porenbeton und Zementmörtel	W	1280	885
	D	2132	1891

4 Diskussion der Ergebnisse

Die gemessenen und berechneten Werte für den Diffusionswiderstand R stimmen nicht überein. Die gemessenen Werte sind stets höher als die berechneten. Unter Berücksichtigung der relevanten Transportmechanismen ist es plausibel, dass die Differenz aus berechneten und gemessenen Werten unter wet-cup Bedingungen etwas grösser ist als bei dry-cup Bedingungen.

Wie bei der kapillaren Saugfähigkeit (siehe [1]) ist diese Differenz wahrscheinlich in erster Linie auf die Inkompatibilität der in der Grenzfläche aneinanderstossenden porösen Werkstoffe zurückzuführen. Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Schnitten normal zur Grenzfläche zeigten, dass teilweise Bindemittel in die grösseren Poren des Substrats eingedrungen ist. Dies schafft einerseits den mechanischen Verbund, behindert jedoch den Feuchtigkeitstransport. Bei porösen Werkstoffen mit stark unterschiedlichen porösen Systemen ist der Einfluss der Grenzfläche auf die Dampfermeabilität nicht vernachlässigbar.

Literatur

1. P. Prim, *Kapillares Saugen durch eine Grenzfläche*, Int. Z. Bauinstandsetzen **2**, 255-265 (1996).
2. P. Prim und F.H. Wittmann, *Structure and Water Absorption of Aerated Concrete*, in Autoclaved Aerated Concrete, herausgegeben von F.H. Wittmann, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 55-69 (1983).
3. RILEM-Empfehlung: Coefficient de conductivité de vapeur d'eau, Matériaux et Constructions **13**, 196-198 (1980).
4. P. Prim, *Conductibilité de vapeur des matériaux de constructions*, Laboratoire des matériaux de construction, EPFL, unveröffentlichter interner Bericht (1988).